



## Hybrid Mill Lining Conference - Tega Industries

# REVESTIMIENTOS DE MOLINOS SAG Evolución del Diseño y Eficiencia del Proceso

**LUIS MAGNE**

**Universidad de Santiago de Chile**

**Agosto 2024**



#SOMOSUSACH





# Inicio de Molinos AG - SAG

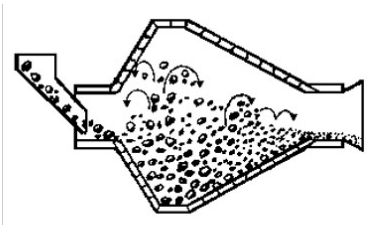
Santiago, 1983

**PRIMER TALLER NACIONAL  
DE MOLIENDA AUTOGENA  
DE MINERALES**

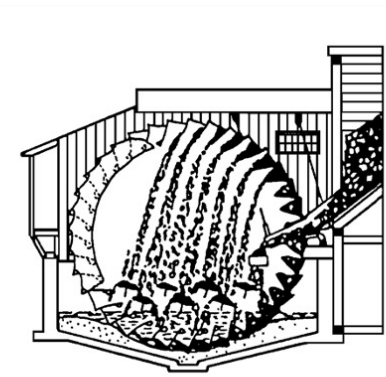
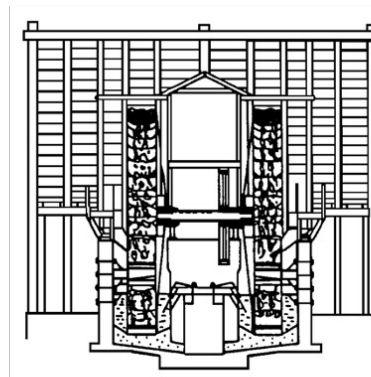
CASCADE MILLING  
YESTERDAY, TODAY AND TOMORROW

ORGANIZAN  
COMPAÑIA MINERA "DISPUTADA DE LAS CONDES S.A."  
CENTRO DE INVESTIGACION MINERA Y METALURGICA  
INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS - CHILE

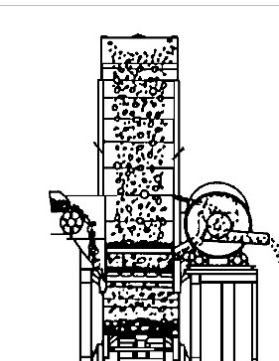
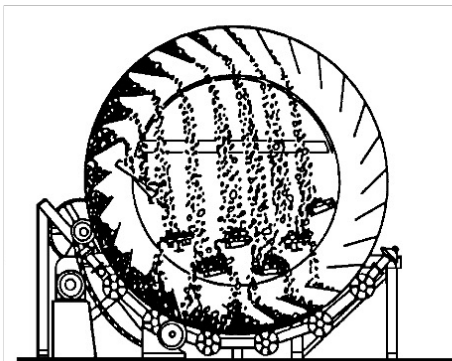
PRE  
IMPRESO  
N° 7



1908: Molino AG cónico, utilizaba mineral de 8 in como medio de molienda.



1932: Molino Hadsel (AG), 24 pies, 75 kW, Beebe Gold Mine. Capacidad 275-300 t/d. Mineral de hasta 12 in.

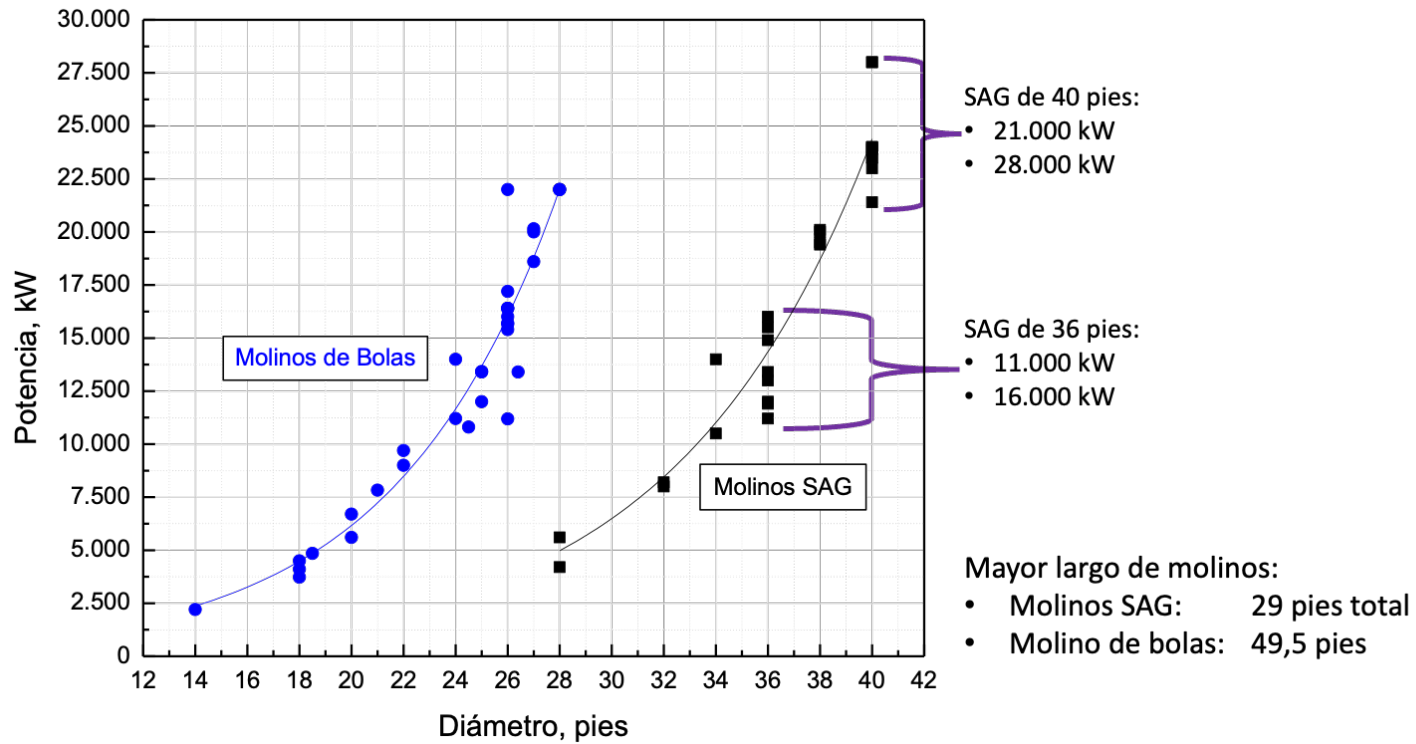


1934: Molino Hardinge - Hadsel (AG), montado sobre rodillos móviles y clasificador de rastras externo. Se identifica la generación de pebbles que limitan capacidad. Se agregan pequeñas proporciones de bolas para controlarlos (SAG).





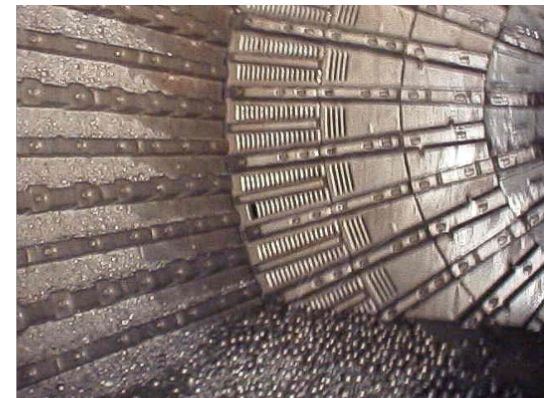
# Dimensión y Potencia Molinos Chile y Perú





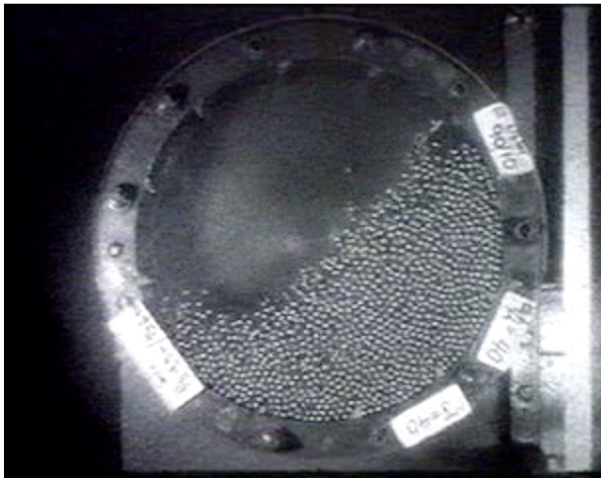


## Revestimientos Molinos SAG: Historia

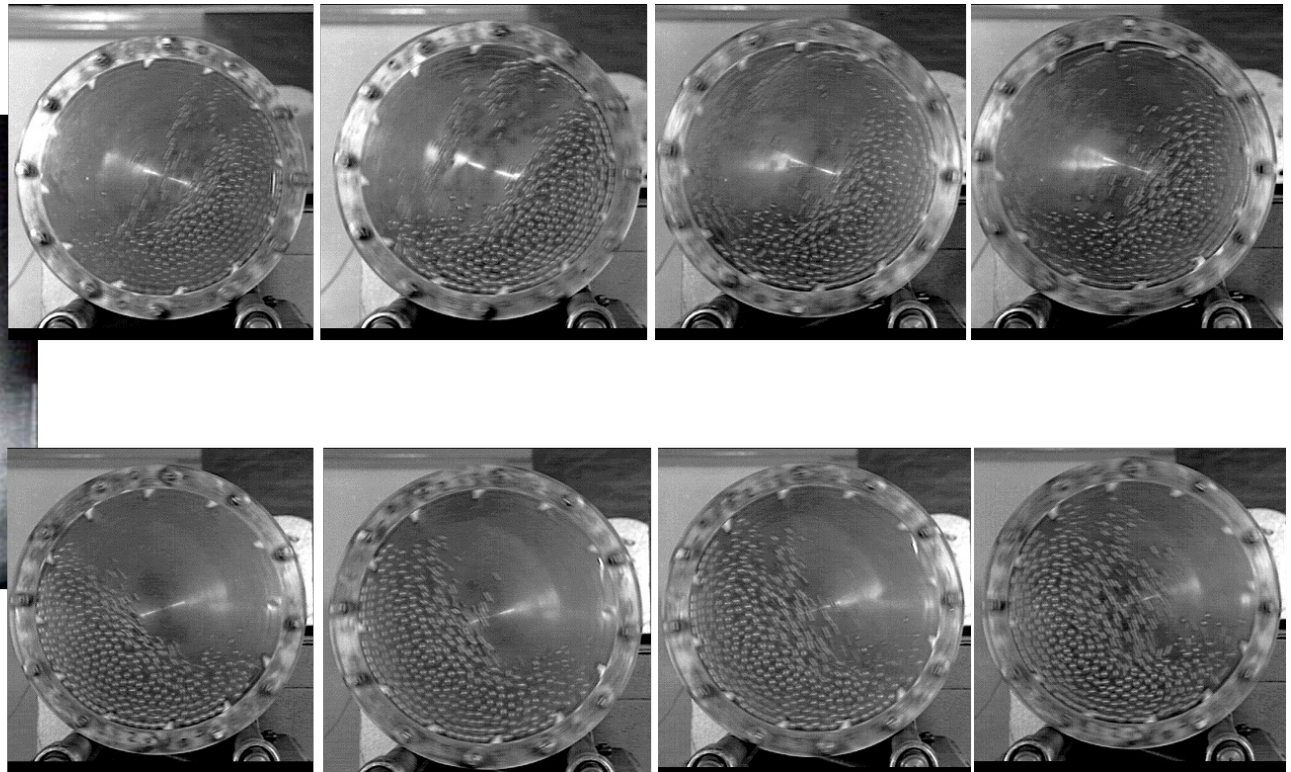




# Estudios del Efecto de Diseño Revestimientos Molinos



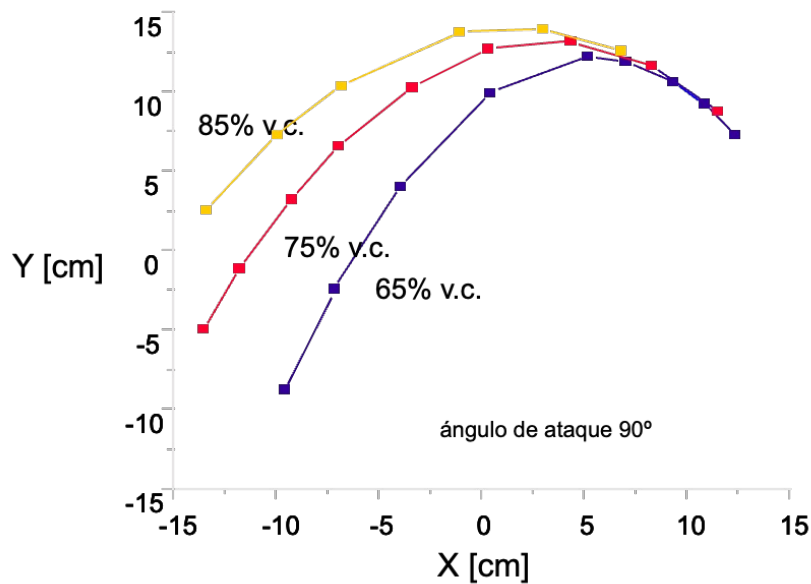
1992, W Valderrama, L Magne, molino 30 cm,  
tapa transparente UTFSM.  
Grabación en película de cine, ChileFilms



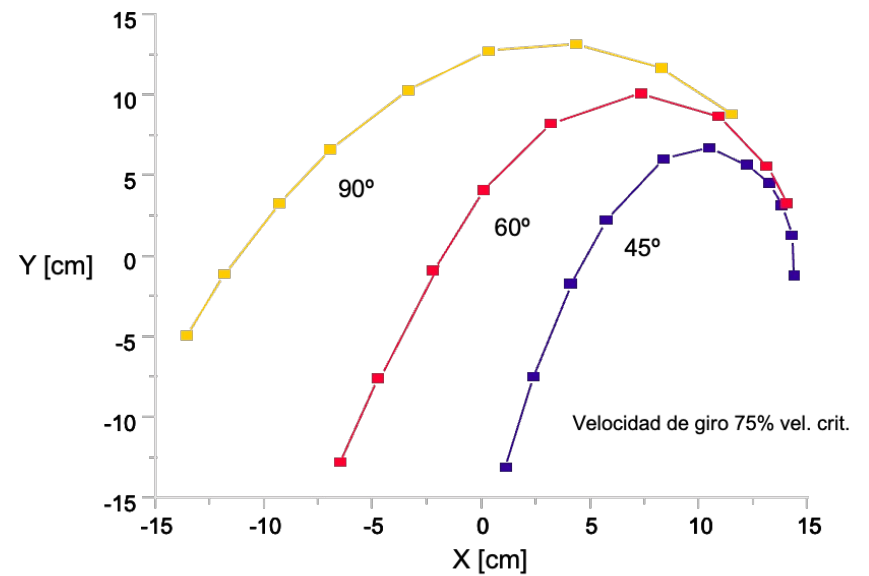


# Estudios del Efecto de Diseño Revestimientos Molinos

Efecto de velocidad, ángulo de ataque fijo



Efecto de ángulo de ataque, velocidad fija



1992, W Valderrama, L Magne

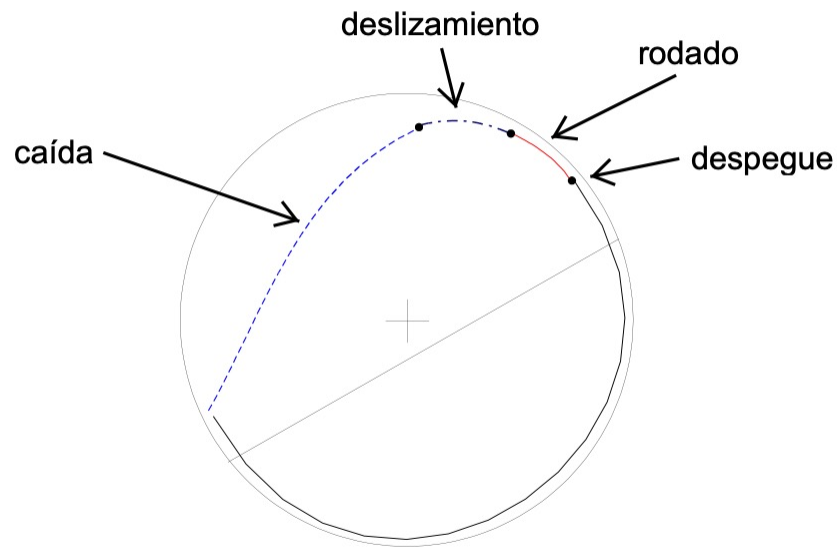






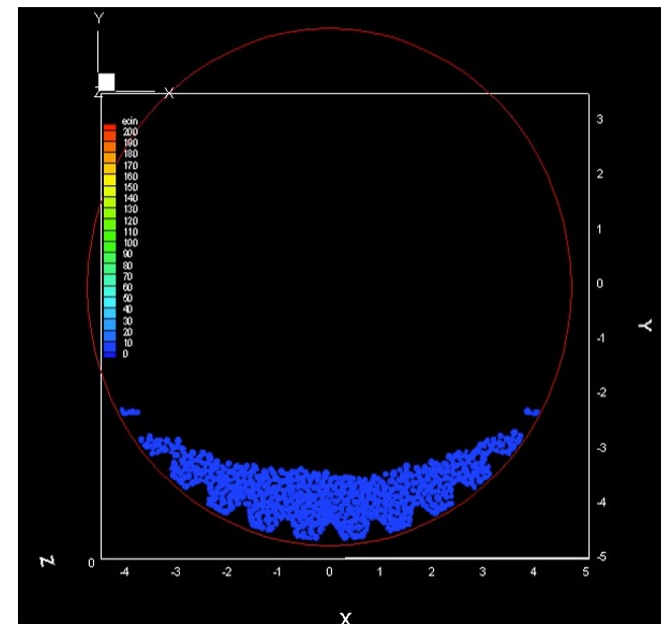
# Estudios del Efecto de Diseño Revestimientos Molinos

Simulación trayectoria de una bola



1991, W Valderrama, L Magne, Ecuaciones de MS Powell

Simulación movimiento de carga



1998, A Gutiérrez, L Magne, MillMED





# Primera Prueba de Lifter con 25º - 1996

División El Teniente, SAG 36 pies, 1996



16 de abril de 1996



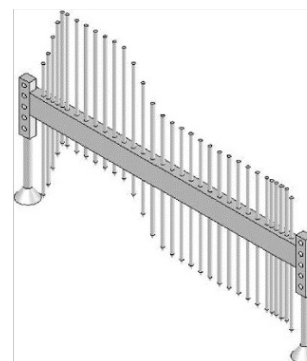
15 de mayo de 1996



13 de junio de 1996



5 de julio de 1996



Métodos de seguimiento desgaste de revestimientos:

- Alambre
- Peineta

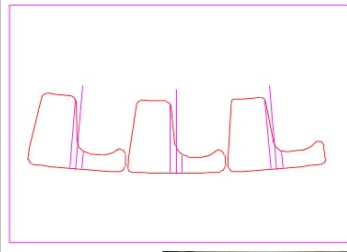




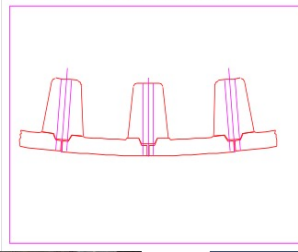


# Evolución del Diseño de Revestimientos Cilindro

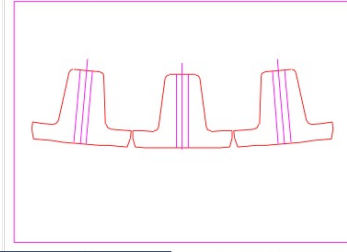
Monoblock Bototo



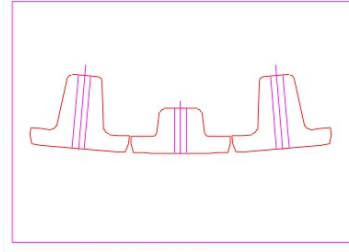
Lifter – placa base



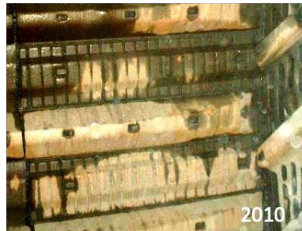
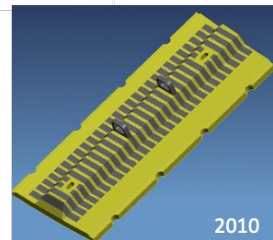
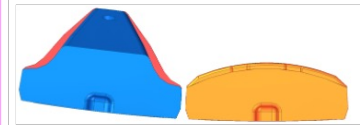
Monoblock Sombrero



Alto – Bajo  
Monoblock o lifter – placa base

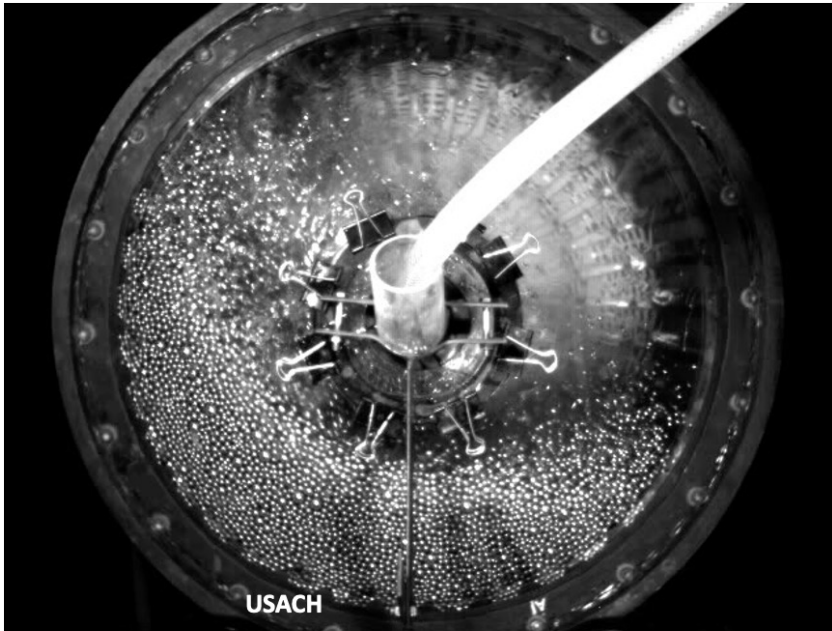


Lifter – placa intermedia





## Visualización Movimiento de Carga Interna y Descarga

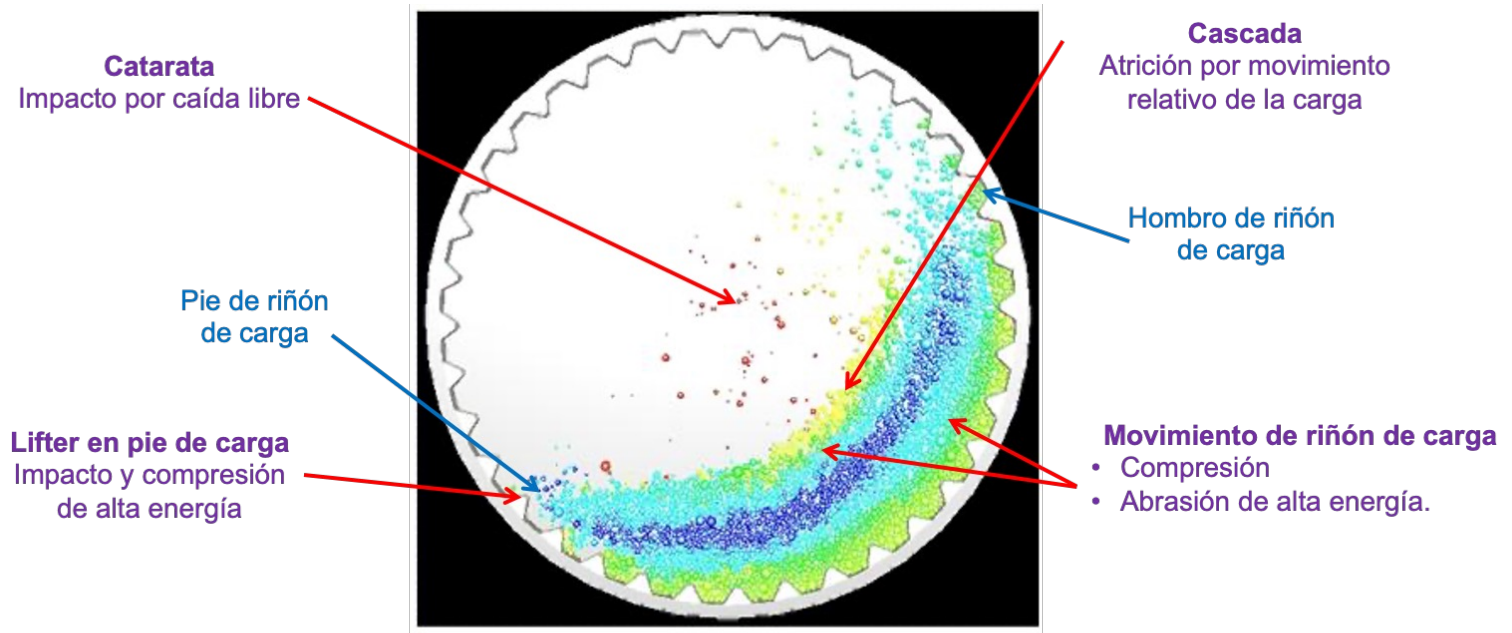


L Magne, G Titichoca, A Gutiérrez, 2008  
Molino 60 cm, a escala de 36 pies, tapas transparentes, USACH  
Videos de alta velocidad y alta resolución





# Análisis Movimiento de Carga Interna Molino SAG



## Variables que afectan el movimiento de carga:

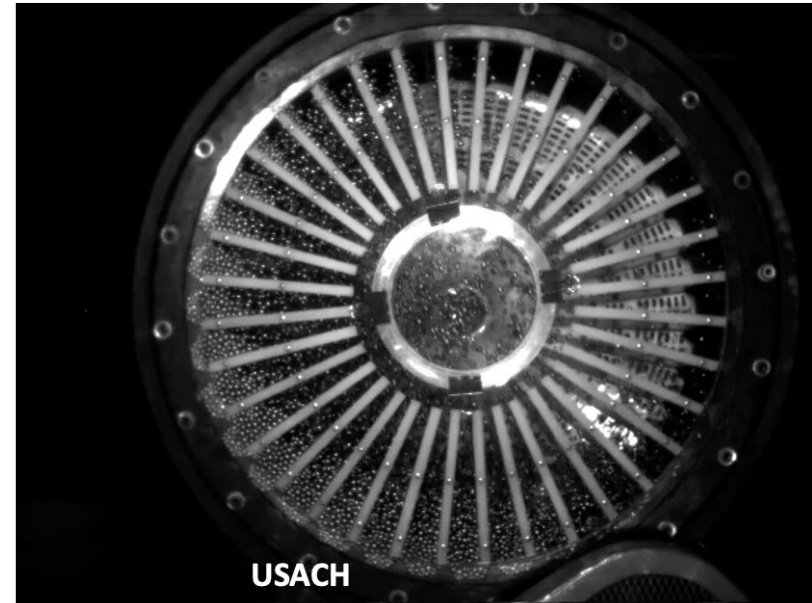
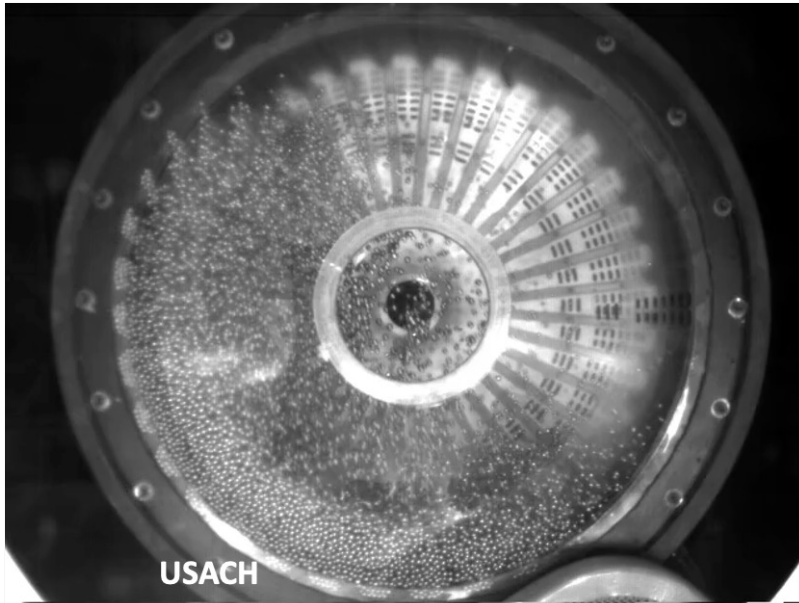
- Diseño del levantador:
  - Altura libre
  - Ángulo de ataque
  - Distancia entre levantadores
- Velocidad del molino
- Granulometría de la carga interna:
  - Tamaño de bola de recarga
- Concentración de sólidos







## Análisis Movimiento de Carga Interna Molino SAG



Lifter de la parrilla:

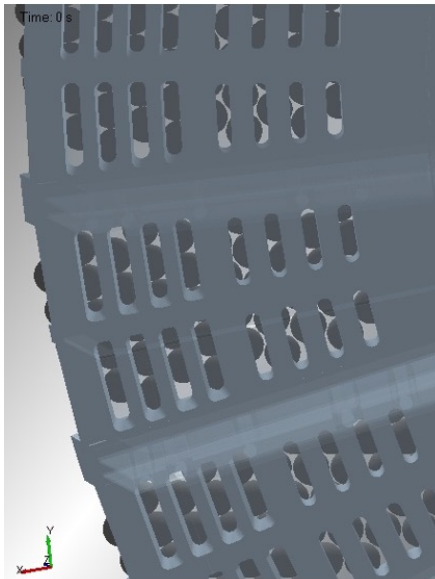
- Provoca que la carga quede “encajonada” sobre la parrilla
- Es el principal responsable de los impactos de bola sobre la parrilla.

L Magne, G Titichoca, A Gutiérrez, 2008  
Molino 60 cm, a escala de 36 pies, tapas transparentes, USACH  
Videos de alta velocidad y alta resolución





## Análisis de Carga Interna Sobre Parrilla



**Carga encajonada en parrilla**  
Bolas y mineral de tamaño mayor sobre la parrilla



**Cegado de parrilla**  
Bolas incrustadas en los slots de parrillas

### Parrillas Tapadas con Carga y Parrillas Cegadas:

- Los levantadores de la parrilla “encajonan” carga sobre la parrilla (a mayor ángulo/altura lifter: encajonado es mayor)
- La parrilla opera “tapada de bolas y mineral grueso” cuando pasa bajo el riñón de la carga
- La pulpa debe atravesar la carga encajonada antes de llegar a la parrilla
- No hay efecto aparente cuando bolas atrapadas en slots (cegado de parrillas) es hasta 20-30% del área libre
- Sobre 40% del área libre cegada la capacidad de evacuación disminuye
- La condición de parrilla tapada explica por qué el aumento de tamaño de slot o área libre de parrilla no siempre aumenta el flujo de pebbles.



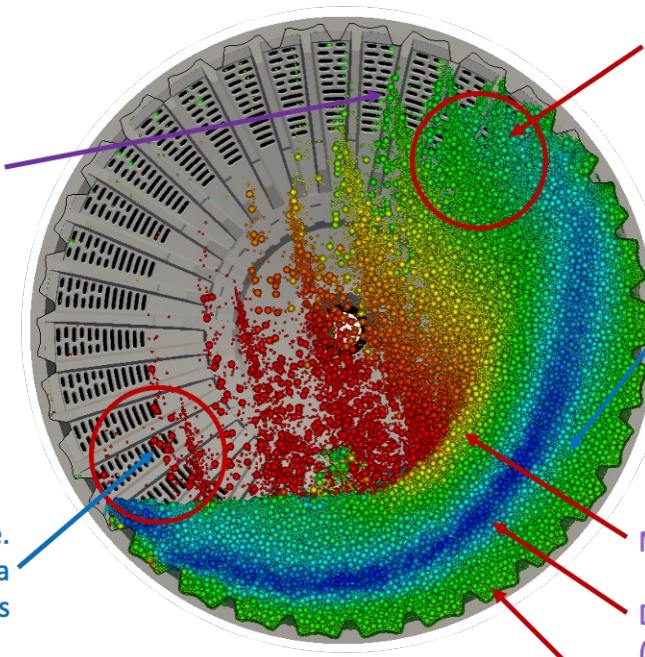


# Análisis de Carga en Tapa de Descarga de Molino SAG

Carga levantada por lifter de la parrilla:

- Bolas pueden impactar la parrilla según diseño del lifter: altura y ángulo

Zona de paso de pebbles en forma libre.  
Con mayor flujo de agua, se arrastra mayor pebbles



Zona de Flow Back: Devolución de pulpa desde el pulp lifter al molino

Riñón de carga cubre la parrilla

- Carga sobre la parrilla
- Desgaste de parrilla

- Pebbles pasan por compresión de la carga sobre mineral en la parrilla
- Bolas deformadas se incrustan en los slots, presionadas por la carga

Máxima velocidad en bajada

Disminución de velocidad a "cero"  
(cambio sentido de movimiento)

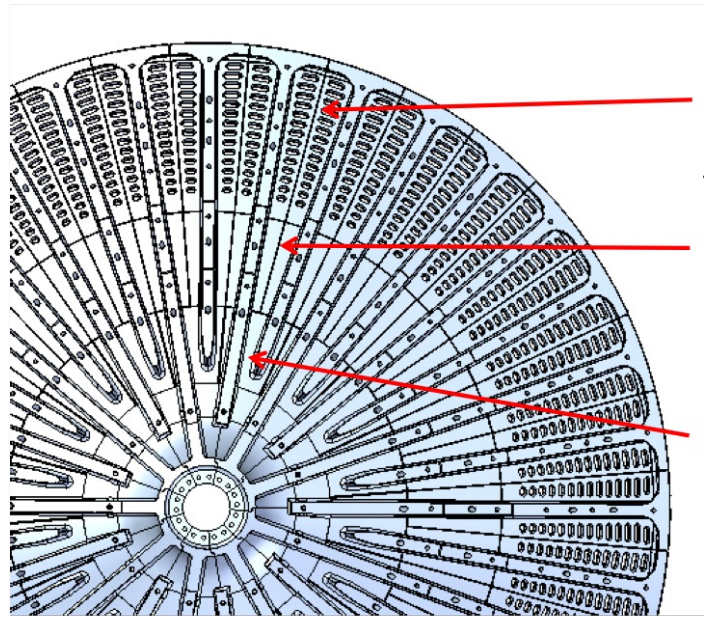
Velocidad del manto de molino y tapa







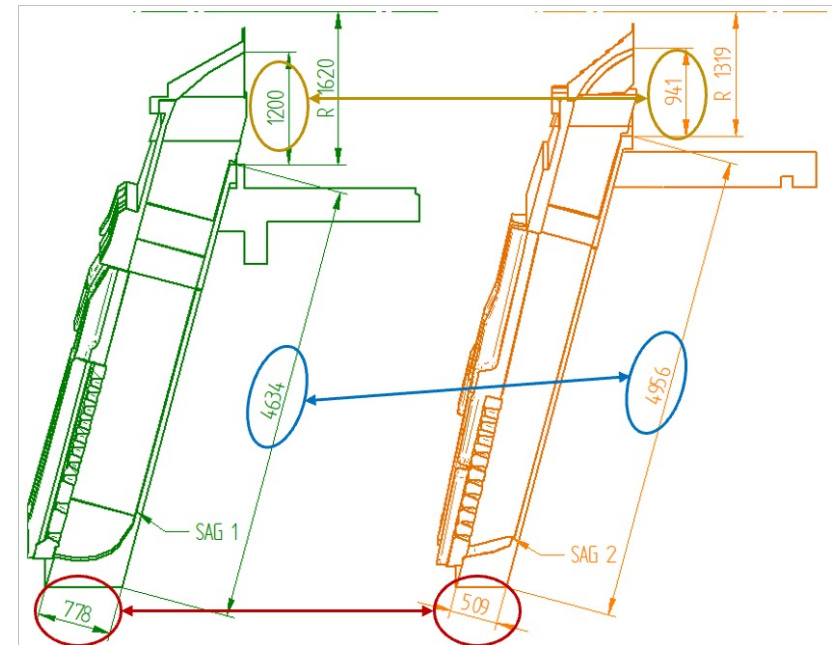
# Diseño de Tapa de Descarga de Molino SAG



Mayor volumen de cajón

Volumen de cajón disminuye, aumenta presión de pulpa

Mínimo volumen de cajón, máxima presión de pulpa

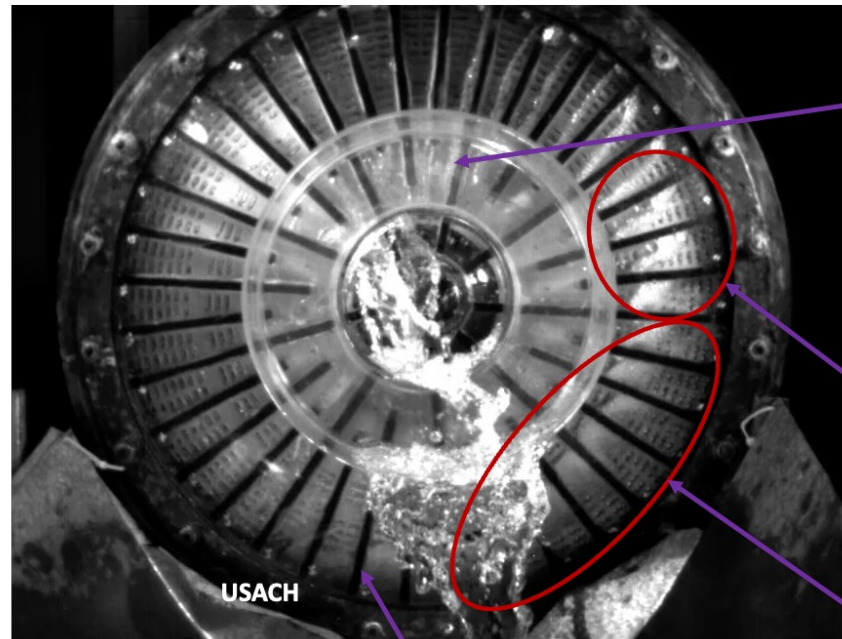




# Análisis Flujos en Pulp Lifter Recto de Molino SAG

30 a 55% de pulpa retorna por Flow Back al molino:

- Tamaño slot
- Área libre
- Largo de parrilla
- Diseño de pulp lifter
- Velocidad de molino



1. Inicio de llenado de pulp lifter

2. Llenado de pulp lifter

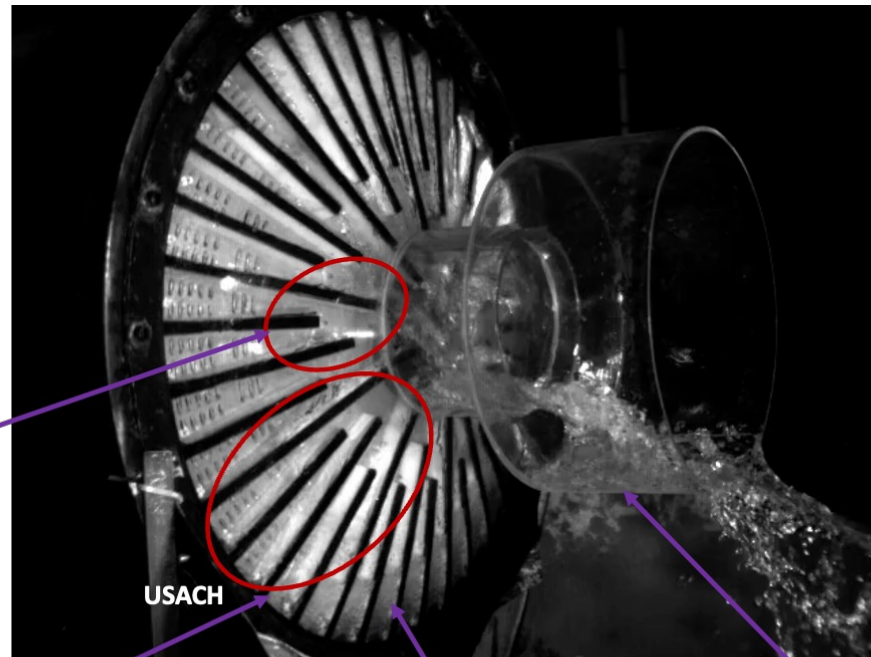
3. Vaciado de pulp lifter hacia el interior del molino: Flow Back

4. Descarga de pulp lifter hacia el exterior del molino





# Análisis Flujos en Pulp Lifter Recto de Molino SAG



6. Inicio devolución de pulpa: Carry Over

7. Devolución de pulpa: Carry Over

2. Llenado de pulp lifter

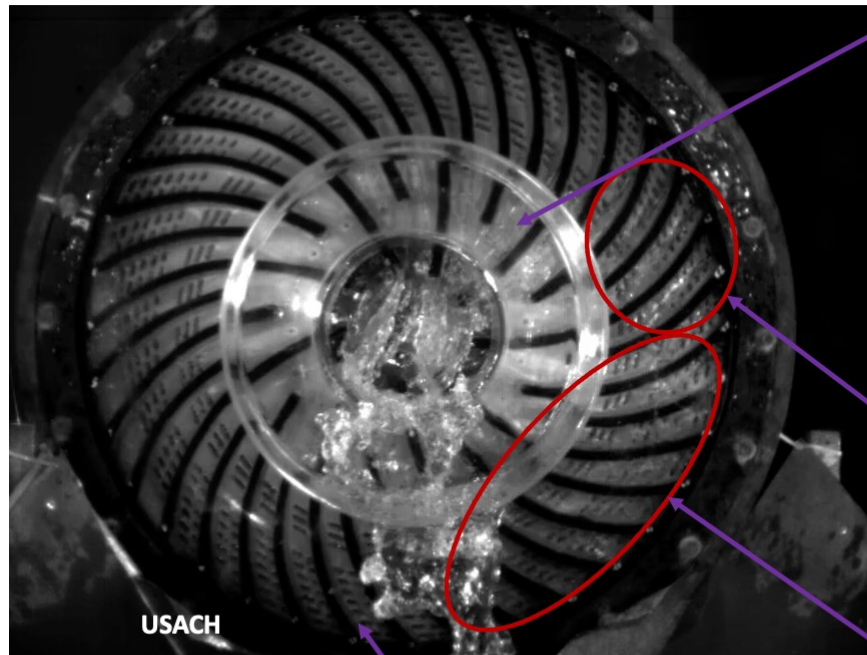
5. Descarga en trommel







# Análisis Flujos en Pulp Lifter Curvo de Molino SAG



4. Descarga de pulp lifter hacia el exterior del molino

3. Vaciado de pulp lifter hacia el interior del molino: Flow Back

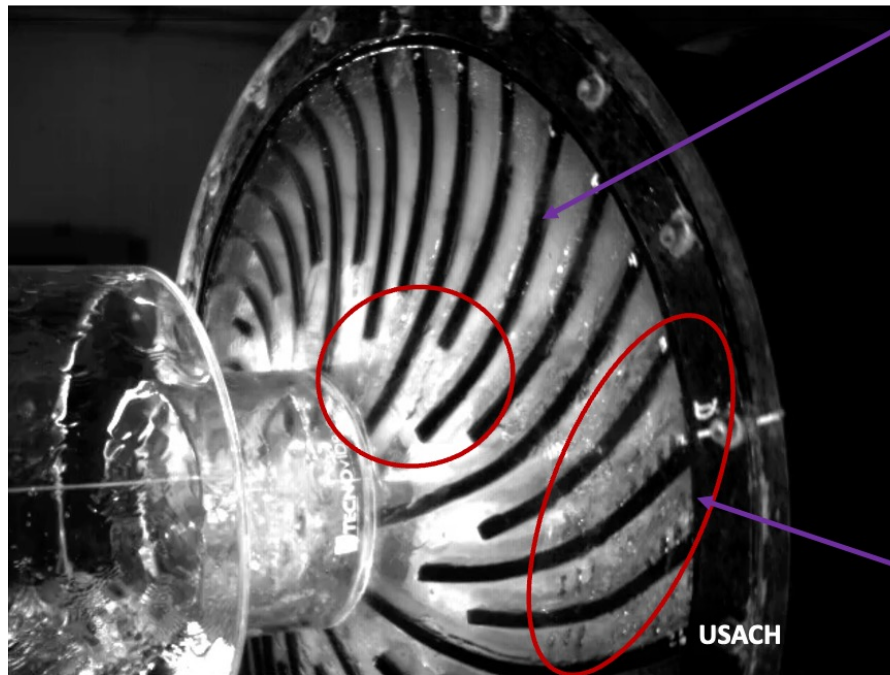
2. Llenado de pulp lifter

1. Inicio de llenado de pulp lifter





# Análisis Flujos en Pulp Lifter Curvo de Molino SAG



4. Descarga de pulp lifter hacia el exterior del molino

3. Vaciado de pulp lifter hacia el interior del molino:  
Flow Back





## Revestimientos Molinos SAG

La adecuada interpretación de los fenómenos que ocurren al interior de un molino SAG, ha permitido optimizar la eficiencia del proceso a través del diseño geométrico y materialidad de los revestimientos.

El máximo beneficio operacional se logra teniendo claro el diseño inicial del revestimiento y su evolución por el desgaste, principalmente:

- Altura y ángulo de ataque del lifter de cilindro
- Tamaño de slot de parrillas
- Geometría de pulp lifters y cono de descarga

El uso de revestimientos híbridos (no revisados en la presentación) ha abierto oportunidades para:

- Aumentar el nivel de bolas teniendo consideraciones de:
  - Potencia disponible
  - Capacidad de sistema de lubricación de pads y enfriamiento de motor
  - Condiciones estructurales del molino.

